



TITLE:

6.走査型トンネル顕微鏡の試作(上智大学大学院理工学研究科物理学専攻,修士論文題目・アブストラクト(1989年度))

AUTHOR(S):

長尾, 淳史

CITATION:

長尾, 淳史. 6.走査型トンネル顕微鏡の試作(上智大学大学院理工学研究科物理学専攻,修士論文題目・アブストラクト(1989年度)). 物性研究 1990, 54(6): 804-806

ISSUE DATE:

1990-09-20

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/94151>

RIGHT:

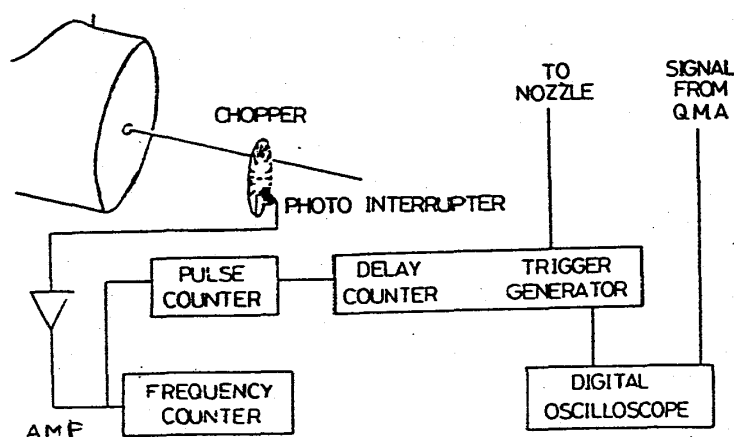


Fig. 1 Experimental setup of TOF measurement

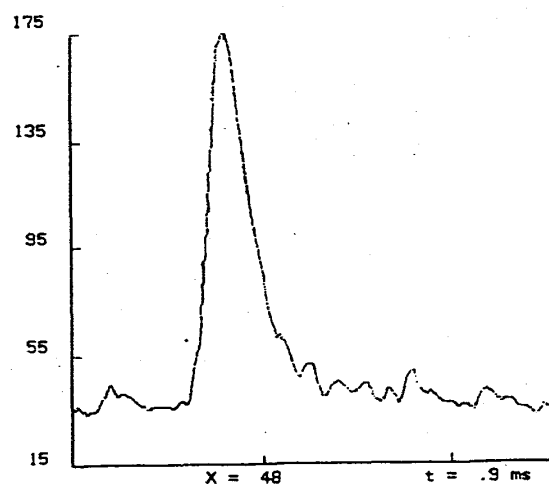


Fig. 2 Beam intensity of Ne as a function of flight-time

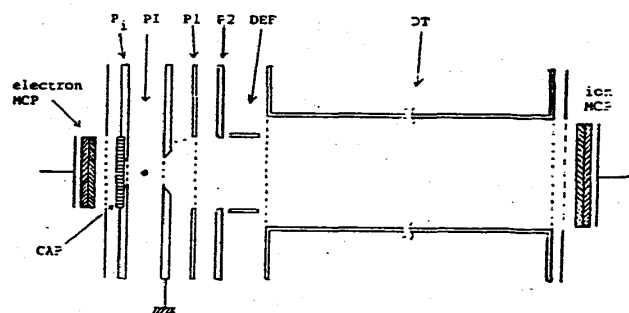


Fig. 3 Schematic view of TEPIOO spectrometer

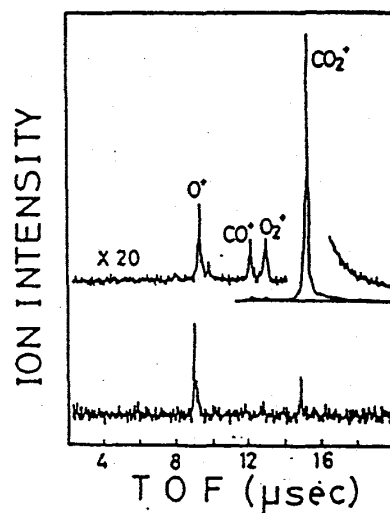


Fig. 4 TOF spectra of CO_2 at 639.4 A
Top : without coincidence
Bottom : with coincidence

6. 走査型トンネル顕微鏡の試作

長尾 淳 史

《 序 論 》 走査型トンネル顕微鏡 (Scanning Tunneling Microscope: STM) は、原子的スケールの分解能を有する顕微鏡である。電子顕微鏡などと比べると、特に垂直方向の分解能に優れており(図1)、原子の大きさの約100分の1のオーダーが実現されている。また、STMは真空中のみならず大気中においても動作が可能なることから、1981年に発明されて以来8年足らずで、物理学の分野のみならず、DNAやウイルスの測定などの生物学への応用もさかんに行われている。

一般に、STMの駆動素子にはPZT系圧電セラミックスが多く用いられている。しかし、PZT系圧電セラミックスには変位特性に大きなヒステリシスが存在し、STM像の歪みの大きな原因となっている(図2)。そこで我々はPLZT系セラミックスを用いてヒステリシスの少ない駆動素子用材料の開発を行うと同時にSTMシステム全体の試作を行った。

《 STMの原理 》 STMの原理は、試料表面と探針の距離を数nmに接近させ、両者の間に電圧を印加すると、トンネル効果により電流(トンネル電流)が流れることを利用する。このトンネル電流の電流密度 J_T は、次の式で表わせる。

$$J_T = \left(\frac{\beta V_T}{2\pi\lambda z} \right) \exp \left[-\frac{2z}{\lambda} \right] \quad (1)$$

$$\lambda \left(= \frac{h}{2\pi\sqrt{2m\phi}} \right) : \text{減衰距離}, \beta \left(= \frac{e^2}{h} \right) : \text{コンダクタンス定数}$$

STMの動作原理の概略図を図3に示す¹⁾。Px, Py, Pzが圧電セラミクスでできている駆動素子であり、3本の素子を互いに直交に組み合わせることによって3次元の位置の制御が可能となる。

式(1)より、試料表面と探針との距離が約1nmのとき、距離が0.1nm変化するとトンネル電流は1桁変化する。したがって、圧電セラミクスに印加する電圧を制御し、フィードバックによりトンネル電流が一定になるように保ちながら探針を試料表面上で走査させると、探針は原子的スケールで試料の凹凸をなぞることになる。すなわち、探針の上下動(Pzに印加する電圧)を読み取り、走査位置によってプロットすると、試料表面の形状を原子的分解能で描き出すことができる。

《 STMの構成 》 STMは、原子的スケールの分解能を達成するために数多くの技術を組み合わせて構成されているが、主に3つの要素に分けられる(図4)。

- ① STMユニット(図5) : 3次元駆動素子、試料、探針からなるSTMの中核部
- ② 制御システム(図6) : 駆動用電源、フィードバック回路、制御用コンピュータ
- ③ 除振システム : 床の振動、空気中を伝わる振動を除去する

《 駆動素子 》 圧電/電歪セラミクスは、ある種の金属酸化物の添加によって変位量およびヒステリシスをコントロールすることができる。電歪セラミクスPBZT[(Pb_{0.73}Ba_{0.27})(Zr_{0.75}Ti_{0.25})O₃]の最大歪量とヒステリシスの添加物依存性を図7に示す²⁾。5~6価のイオンがヒステリシスの抑制に効果があることがわかる。この中でも特にNb⁵⁺やW⁶⁺が圧電セラミクスPLZTにおいて有効であるとされている。そこで本研究ではNb⁵⁺を選び、PLZT[(Pb_{0.97}La_{0.03})(Zr_{0.52}Ti_{0.48})O₃]に添加することによってヒステリシスのコントロールを試みた。ヒステリシスの原因は、圧電セラミクスの分域の回転が電界印加とともに起こるためである。圧電セラミクスPLZTにNb⁵⁺を数atm%添加することによってドナーキャリアが与えられ、ペロブスカイト結晶構造のBサイトに空格子点が生じ、本来のp型特性を補償するように働く。従って、分域壁のピン止め効果が解除され、ヒステリシスが小さくなると考えられる。すなわち添加物はわずかな組成の変化でなく、電子状態の変化として変位量及びヒステリシスに影響を与える。また、添加物の量を変えることによって変位量とヒステリシスをコントロールすることも可能である。

《 課題と方向 》 STM像はまだ完全な形では得られておらず、今後の研究にゆだねられる。STMは、すでに現在数社から市販されているが、駆動素子の特性や探針の先端の形状による影響等の問題が未解決であり、完全なSTMとはいえない。探針の先端形状については多く研究されているが、駆動素子についてはほとんど報告がない。より高性能なSTMの開発には、駆動素子の性能の向上が不可欠である。

【参考文献】

- 1) G. Binnig, H. Rohrer, Ch. Gerber, and E. Weibel : Phys. Rev. Lett., **49**, 57-61 (1982)
- 2) A. Hagimura and K. Uchino : Ferroelectrics, Vol. 93, 373-378 (1989)

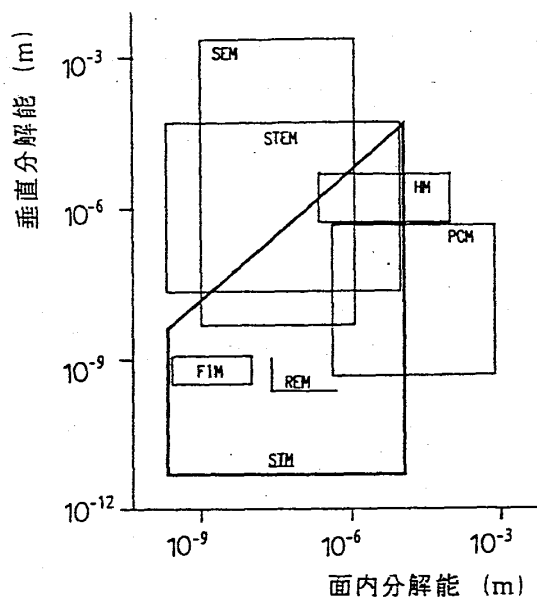
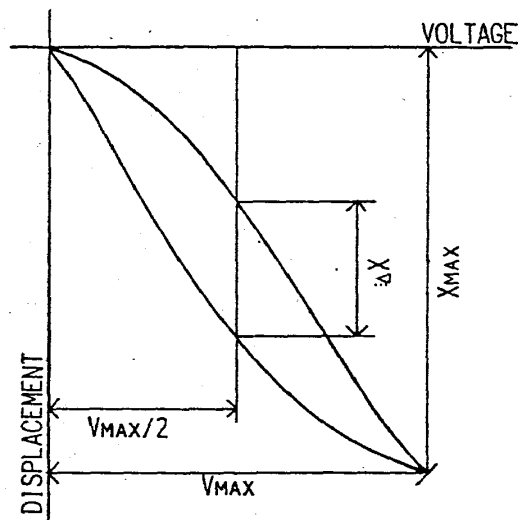


図1 STMの分解能



$$\text{ヒステリシス (\%)} = \Delta X / X_{\text{MAX}} \times 100$$

図2 変位特性におけるヒステリシス

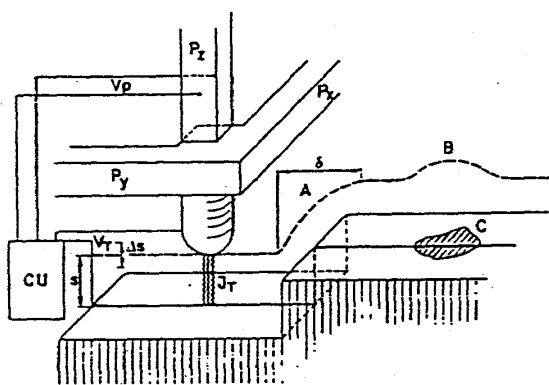


図3 STMの原理

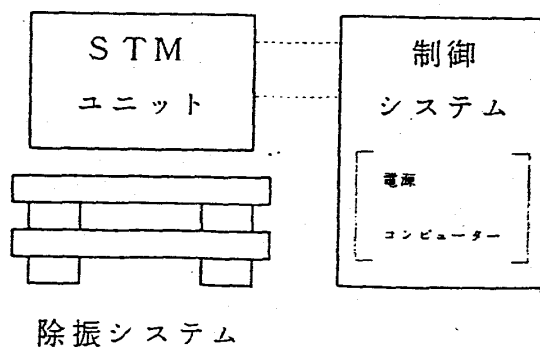


図4 STMの構成

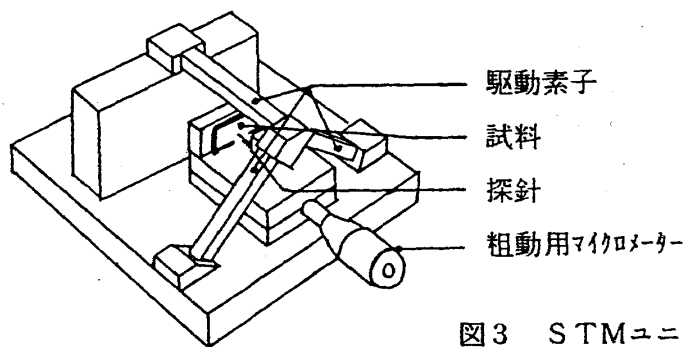


図3 STMユニット

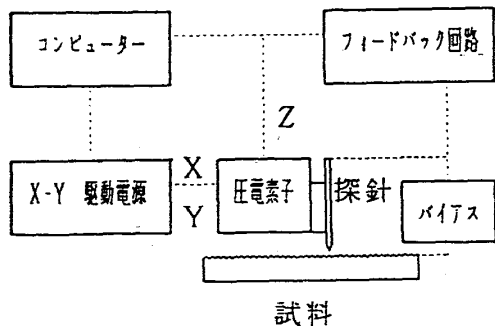


図6 STM制御システム

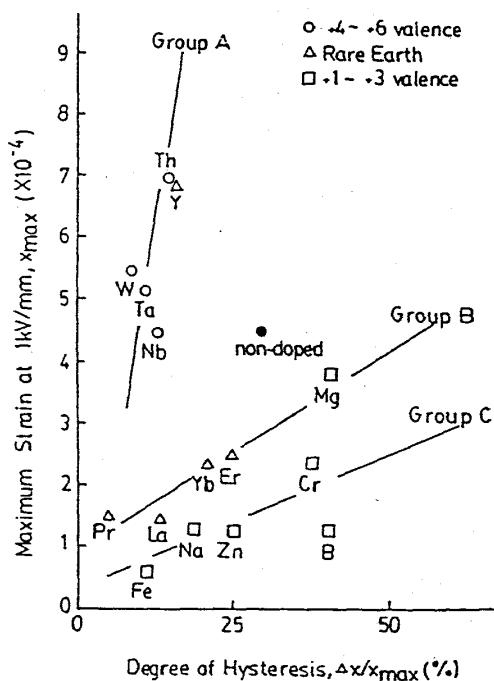


図7 PBZTの添加物依存性